

УДК 543.258:543.8

## РЕАКЦИИ АНТИОКСИДАНТОВ КОНЬЯКА С ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРОВАННЫМИ ОКИСЛИТЕЛЯМИ

*Г.К. Зиятдинова, И.Р. Салихова, Г.К. Будников*

### Аннотация

Найдены стехиометрические коэффициенты реакций фенольных антиоксидантов (эллаговой и галловой кислот, сиреневого альдегида, ванилина и кониферальдегида) и фурановых альдегидов (фурфурала и 5-гидрокси-метилфурфурала) коньяка с электрогенерированными бромом и гексацианоферрат(III)-ионами. Установлено, что гексацианоферрат(III)-ионы окисляют только галловую и эллаговую кислоты с участием 4 электронов. В реакции с электрогенерированными окислителями вступают гидроксильные группы в структуре молекул исследуемых соединений. В случае электрогенерированного брома помимо реакций окисления возможны реакции электрофильного присоединения по кратным связям и замещения в ароматическом кольце. Предложены соответствующие схемы реакций. Определение исследуемых соединений проведено в модельных растворах. Величина относительного стандартного отклонения не превышает 0.03.

**Ключевые слова:** фенольные антиоксиданты, фурановые альдегиды, кулонометрическое титрование, электрогенерированные окислители.

### Введение

Известно, что алкогольные напитки обладают антиоксидантными свойствами [1]. В настоящее время хорошо изучены вина, пиво, ликеры и бальзамы. Об антиоксидантных свойствах крепких алкогольных напитков, в частности коньяков и бренди, сведений в литературе недостаточно. Как правило, это общая информация описательного характера. Коньяк имеет сложный химический состав, причем в число основных его компонентов входит значительное количество соединений фенольного типа, которые обладают высокой антиоксидантной и антирадикальной активностью [2].

По данным Национального межпрофессионального бюро коньяка основными антиоксидантами коньяка являются фенольные соединения – эллаговая и галловая кислоты, их эфиры, сиреневый альдегид и кониферальдегид, а также ванилин и соединения фуранового ряда [3, 4]. Такого рода фенольные антиоксиданты значительно влияют на цвет, вкус, горечь и терпкость конечного продукта. Необходимо отметить, что умеренное употребление коньяка, богатого фенольными соединениями, способно оказывать положительный терапевтический эффект на здоровье человека, снижая риск развития сердечно-сосудистых заболеваний [5, 6]. Эллаговая кислота, одна из наиболее важных фенольных составляющих коньяка, обладает противоопухолевым и антимуtagenными свойствами [7], а также проявляет антиоксидантное действие *in vitro* и *in vivo* [8].

Табл. 1

Параметры вольтамперометрического отклика антиоксидантов коньяка

Аналит	Электрод	Метод	$E$ , В	pH	Ссылка
Галловая кислота	Ртутный с висячей каплей	АдИП	-1.04	7.53	[9]
	МУНТ-УПЭ	ДИВ	+0.58	2.0	[10]
	МУНТ-СУЭ	ЦВА	+0.26; 0.63	7.4	[11]
	СУЭ	ЦВА	+0.274	7.0	[12]
Эллаговая кислота	МУНТ-УПЭ	ДИВ	+0.77	2	[10]
	СУЭ	КВВ	+0.278	6.5	[13]
	СУЭ	КВВ	+0.42	5.5	[14]
	Hg	ДИП	-1.298	6.8	[15]
Ванилин	Графен-СУЭ	ДИВ	+0.65	5.0	[16]
	Лизин-УПЭ	ДИВ	+0.95	7.0	[17]
	Pt	ЦВА	+1.025	1.0	[18]
Фурфураль	Нано-TiO <sub>2</sub>	ЦВА	-1.95	ИЖ	[19]
	Ртутный с висячей каплей	АдКВВ	-0.65	9.5	[20]
5-Гидроксиметил-фурфураль	Ртутный с висячей каплей	АдКВВ	-0.87	9.5	[20]

МУНТ – многослойные углеродные нанотрубки.

УПЭ – угольный пастовый электрод.

СУЭ – стеклоуглеродный электрод.

АдИП – адсорбционная инверсионная полярография.

ДИВ – дифференциально-импульсная вольтамперометрия.

ЦВА – циклическая вольтамперометрия.

КВВ – квадратно-волновая вольтамперометрия.

АдКВВ – адсорбционная квадратно-волновая вольтамперометрия.

ДИП – дифференциально-импульсная полярография.

ИЖ – ионная жидкость.

Поскольку антиоксиданты сравнительно легко вступают в реакции окисления, то для их определения можно использовать электрохимические методы. Описаны подходы и условия при вольтамперометрическом определении галловой и эллаговой кислот, ванилина и фуральдегидов (табл. 1).

Следует отметить, что кулонометрическое титрование с электрогенерированными окислителями обладает рядом преимуществ по сравнению с другими электрохимическими методами. Главным образом, это отсутствие необходимости в предварительном построении градуировочных графиков, поскольку кулонометрия является абсолютным методом и не использует зависимость свойства от концентрации определяемого вещества, характерную для любого другого физико-химического метода анализа. Важными характеристиками для рутинного анализа являются экспрессность (на одно титрование затрачивается не более 5 мин), доступность и простота проведения анализа в сочетании с высокой точностью и воспроизводимостью получаемых результатов. Кроме того, использование электрогенерированных окислителей позволяет в некотором приближении в ряде случаев моделировать процессы, протекающие с участием в живых системах.

Цель настоящей работы – оценить реакционную способность антиоксидантов коньяка по отношению к электрогенерированным окислителям – бром и гексацианоферрат(III)-ионам.

### 1. Экспериментальная часть

В работе использовали галловую и 95%-ную эллаговую кислоты, 99%-ный ванилин (Sigma, Германия), 98%-ный сиреневый альдегид, 98%-ный кониферальдегид и 99%-ный 5-гидроксиметилфурфураль (Aldrich, Германия), а также 99%-ный фурфураль (Sigma-Aldrich, Германия). Их стандартные растворы с концентрацией 0.4–5.0 мМ готовили по точной навеске, которую растворяли в 25.0 мл этанола (ректификата). Остальные реактивы марки «х.ч.».

Электрогенерацию брома и гексацианоферрат(III)-ионов проводили на потенциостате П-5827М соответственно из 0.2 М КВг в 0.1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 0.1 М  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  в 0.5 М растворе NaOH на платиновом электроде при постоянной силе тока 5.0 мА. Конечную точку титрования определяли амперометрически с двумя поляризованными платиновыми электродами ( $\Delta E = 200$  мВ).

В электрохимическую ячейку на 50 мл вводили 20.0 мл фонового раствора и 1.0 мл раствора исследуемого соединения, помещали рабочий, вспомогательный и индикаторные электроды. Для титрования брали аликвоты с таким расчетом, чтобы время титрования не превышало 5 мин. Фиксировали изменение индикаторного тока во времени.

По перегибу на индикаторных кривых находили конечную точку титрования. Теоретически рассчитанное количество вещества, выделяющееся на электроде (г) при электролизе, находили по закону Фарадея.

Статистическую обработку результатов проводили для 5 измерений при доверительной вероятности 0.95. Результаты представляли как  $X \pm \Delta X$ , где  $X$  – среднее значение и  $\Delta X$  – доверительный интервал. Величина относительного стандартного отклонения ( $s_r$ ).

### 2. Результаты и их обсуждение

В качестве объектов выбраны полифенолы и фурановые альдегиды, содержащиеся в коньяках по данным Национального межпрофессионального бюро коньяка [21]. Это эллаговая и галловая кислоты, сиреневый альдегид, ванилин, кониферальдегид, фурфураль и 5-гидроксиметилфурфураль (рис. 1).

Изучены их реакции с электрогенерированными окислителями: бромом и гексацианоферрат(III)-ионами. Число электронов, участвующих в реакциях, представлено в табл. 2.

Установлено, что электрогенерированный бром быстро и количественно реагирует с исследуемыми соединениями за исключением фурфурала. Как известно [22], окисление бромид-ионов в кислой среде на платиновом электроде приводит к образованию  $\text{Br}_3^-$ ,  $\text{Br}_2$ , а также короткоживущих радикалов брома ( $\text{Br}^{\bullet}_{\text{эл}}$ ), адсорбированных на поверхности платинового электрода. 5-Гидроксиметилфурфураль, вероятно, вступает в реакцию с последними с образованием стабильного радикала.

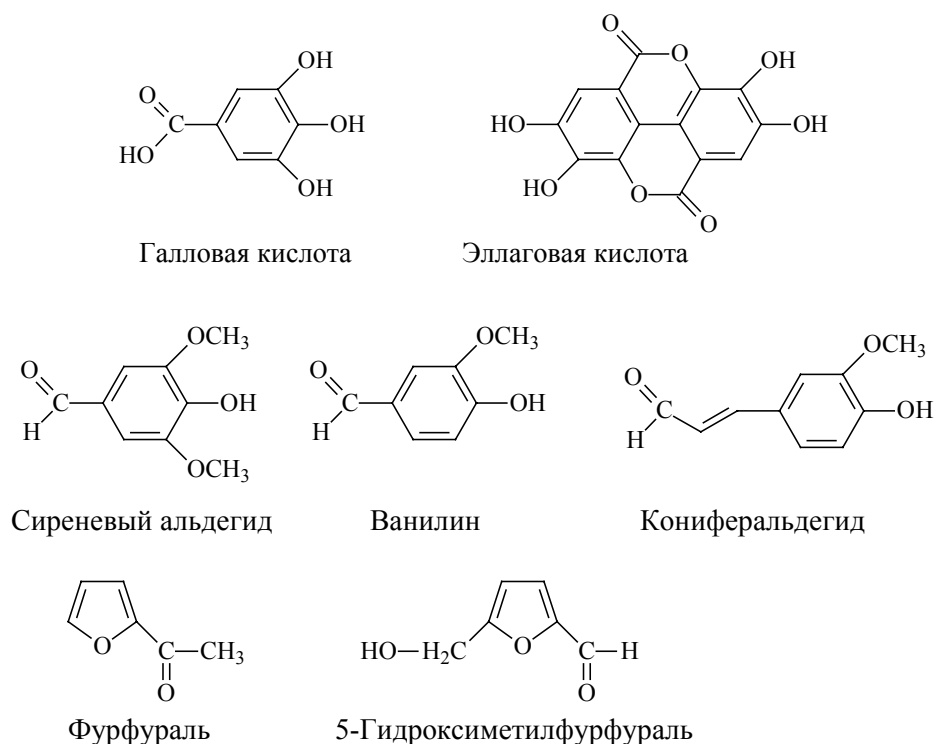


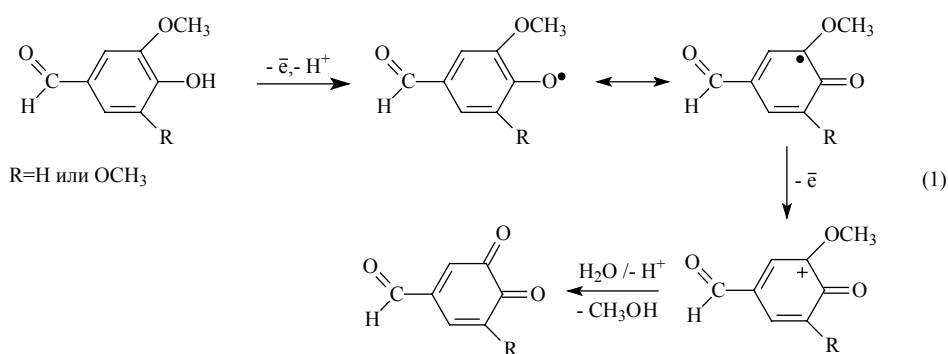
Рис. 1. Антиоксиданты коньяка

Табл. 2

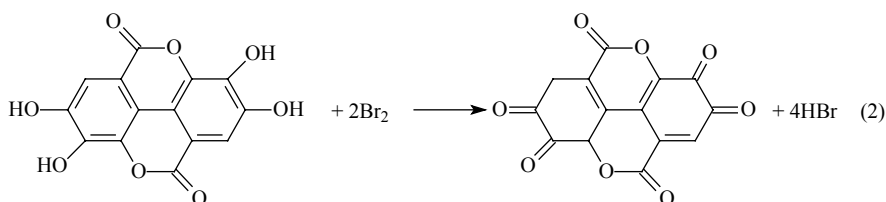
Число электронов, участвующих в реакциях антиоксидантов коньяка с электрогенерированным бромом и гексацианоферрат(III)-ионами по результатам кулонометрического титрования

Соединение	Число электронов, участвующих в реакции	
	Br <sub>2</sub>	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>3-</sup>
Эллаговая кислота	4	4
Галловая кислота	4	4
Сиреневый альдегид	2	–
Ванилин	2	–
Кониферальдегид	5	–
Фурфураль	–	–
5-Гидроксиметилфурфураль	1	–

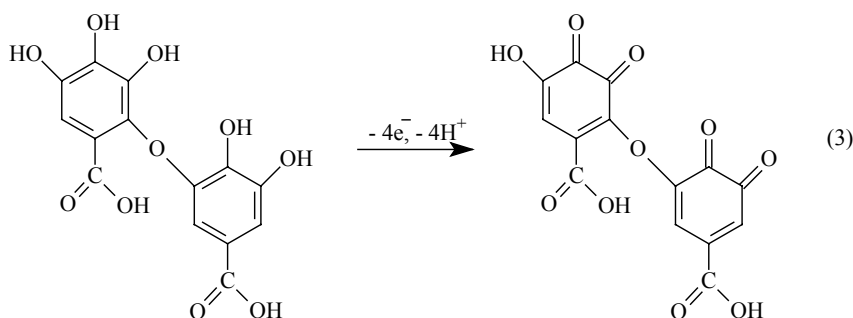
По аналогии с окислением феруловой кислоты [23] можно предположить, что ванилин и сиреневый альдегид окисляются до *o*-хинонов согласно схеме 1.



В случае кониферальдегида реакция протекает с участием 5 электронов. При этом, вероятно, происходит окисление гидроксильной группы, а также возможны реакции электрофильного присоединения по кратной связи и замещения в ароматическом кольце. Эллаговая кислота окисляется с образованием соответствующего ди-*o*-хинона согласно схеме 2.



Электрогенерированные гексацианоферрат(III)-ионы взаимодействуют только с галловой и эллаговой кислотами с участием 4 электронов. Эллаговая кислота окисляется по аналогичной схеме реакции с бромом. Галловая кислота в щелочной среде при  $\text{pH} > 11$  под действием кислорода воздуха димеризуется с образованием дегидрогалловой кислоты [24], которая затем окисляется гексацианоферрат(III)-ионами до соответствующего ди-*o*-хинона (схема 3).



Полученные данные были использованы при определении исследуемых антиоксидантов в модельных растворах. Результаты представлены в табл. 3.

Результаты титрования индивидуальных антиоксидантов позволяют предложить кулонометрическое титрование с электрогенерированными окислителями как способ оценки антиоксидантных свойств коньяков. Различие в реакционной способности кислот и альдегидов по отношению к электрогенерированным бромом и гексацианоферрат(III)-ионами можно использовать для дифференцирования классов исследуемых органических соединений.

Табл. 3

Результаты кулонометрического определения антиоксидантов коньяка в модельных растворах ( $n = 5$ ,  $P = 0.95$ )

Определяемое соединение	Титрант	Введено, мкг	Найдено, мкг	$s_r$
Галловая кислота	Br <sub>2</sub>	34	34.1 ± 0.8	0.019
		136	136 ± 1	0.006
	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	85	85 ± 2	0.017
		212	212 ± 1	0.005
Эллаговая кислота	Br <sub>2</sub>	114	112 ± 3	0.020
		228	228 ± 1	0.004
	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	114	111 ± 2	0.017
		228	228 ± 2	0.009
Сиреневый альдегид	Br <sub>2</sub>	149	148 ± 2	0.012
		299	296 ± 3	0.009
Ванилин	Br <sub>2</sub>	104	103 ± 3	0.026
		208	209 ± 4	0.018
Кониферальдегид	Br <sub>2</sub>	78.5	78 ± 1	0.012
		314	312 ± 4	0.011
5-Гидроксиметил-фурфураль	Br <sub>2</sub>	139	138 ± 3	0.021
		556	554 ± 6	0.011

#### Литература

1. *Lugasi A., Hóvári J.* Antioxidant properties of commercial alcoholic and nonalcoholic beverages // *Nahrung*. – 2003. – V. 47, No 2. – P. 79–86.
2. *Faith N.* Cognac. – MITCH, 2006. – 176 p.
3. *Goldberg D.M., Hoffman B., Yang J., Soleas G.J.* Phenolic constituents, furans, and total antioxidant status of distilled spirits // *J. Agric. Food Chem.* – 1999. – V. 47, No 10. – P. 3978–3985.
4. *da Porto C., Calligaris S., Celotti E., Nicoli M.C.* Antiradical properties of commercial cognacs assessed by the DPPH• test // *J. Agric. Food Chem.* – 2000. – V. 48, No 9. – P. 4241–4245.
5. *Rimm E.B., Giovannucci E.L., Willett W.C., Colditz G.A., Ascherio A., Rosner B., Stampfer M.J.* Prospective study of alcohol consumption and risk of coronary disease in men // *Lancet*. – 1991. – V. 338, No 8765. – P. 464–468.
6. *Carando S., Teissedre P.L., Ferriere M., Descomps B., Cabanis J.C.* Athérosclérose: Physiopathologie. Boissons alcoolisées et cardiopathies ischémiques // *Cahier de Nutrition et de Diététique*. – 1998. – V. 33. – P. 182–187.
7. *Josephy P.D., Lord H.L., Snieckus V.A.* Inhibition of benzo[a]pyrene dihydrodiol epoxide mutagenicity by synthetic analogues of ellagic acid // *Mutat. Res.* – 1990. – V. 242, No 2. – P. 143–149.
8. *Majid S., Khanduja K.L., Gandhi R.K., Kapur S., Sharma R.R.* Influence of ellagic acid on antioxidant defense system and lipid peroxidation in mice // *Biochem. Pharmacol.* – 1991. – V. 42, No 7. – P. 1441–1445.
9. *Abbasi S., Daneshfar A., Hamdghadareh S., Farmany A.* Quantification of sub-nanomolar levels of gallic acid by adsorptive stripping voltammetry // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2011. – V. 6, No 10. – P. 4843–4852.
10. *Ghoreishi S.M., Behpour M., Khayatkashani M., Motaghedifard M.H.* Simultaneous determination of ellagic and gallic acid in *Punica granatum*, *Myrtus communis* and Itriphal for-

- mulation by an electrochemical sensor based on a carbon paste electrode modified with multi-walled carbon nanotubes // *Anal. Methods*. – 2011. – V. 3, No 3. – P. 636–645.
11. Зиятдинова Г.К., Низамова А.М., Айтуганова И.И., Будников Г.К. Вольтамперометрическая оценка антиоксидантной емкости чая на электродах, модифицированных многослойными углеродными нанотрубками // *Журн. аналит. химии*. – 2013. – Т. 68, № 2. – С. 145–152.
  12. Arteaga J.F., Ruiz-Montoya M., Palma A., Alonso-Garrido G., Pintado S., Rodríguez-Mellado J.M. Comparison of the simple cyclic voltammetry (CV) and DPPH assays for the determination of antioxidant capacity of active principles // *Molecules*. – 2012. – V. 17, No 5. – P. 5126–5138.
  13. Komorsky-Lovrić Š., Novak I. Determination of ellagic acid in strawberries, raspberries and blackberries by square-wave voltammetry // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2011. – V. 6, No 10. – P. 4638–4647.
  14. Cuartero M., Ortuño J.A., Truchado P., García M.S., Tomás-Barberán F.A., Albero M.I. Voltammetric behaviour and square-wave voltammetric determination of the potent antioxidant and anticarcinogenic agent ellagic acid in foodstuffs // *Food Chem.* – 2011. – V. 128, No 2. – P. 549–554.
  15. Thakur K., Pitre K.S. Polarographic (DCP & DPP) determination of ellagic acid in strawberries & pharmaceutical formulations // *J. Chinese Chem. Soc.* – 2008. – V. 55, No 1. – P. 143–146.
  16. Peng J., Hou C., Hu X. A graphene-based electrochemical sensor for sensitive detection of vanillin // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2012. – V. 7, No 2. – P. 1724–1733.
  17. Chethana B.K., Basavanna S., Naik Y.A. Determination of vanillin in real samples using lysine modified carbon paste electrode // *J. Chem. Pharm. Res.* – 2012. – V. 4, No 1. – P. 538–545.
  18. Xiao-rong Z., Wei-dong L., Jin H., Zheng-zhong Z. Electrochemical-voltammetry behavior of several aromatic aldehydes in acid solution // *Wuhan Univ. J. Nat. Sci.* – 2000. – V. 5, No 4. – P. 485–490.
  19. Chu D., Hou Y., He J., Xu M., Wang Y., Wang S., Wang J., Zha L. Nano TiO<sub>2</sub> film electrode for electrocatalytic reduction of furfural in ionic liquids // *J. Nanopart. Res.* – 2009. – V. 11, No 7. – P. 1805–1809.
  20. Shamsipur M., Beigi A.A.M., Teymouri M., Tash S.A., Samimi V. Electrocatalytic application of Girard's reagent T to simultaneous determination of furaldehydes in pharmaceutical and food matrices by highly sensitive voltammetric methods // *Electroanalysis*. – 2010. – V. 22, No 12. – P. 1314–1322.
  21. Carusio N., Wangenstein R., Filipelli A., Andriantsitohaina R. Oral administration of polyphenolic compounds from cognac decreases ADP-induced platelet aggregation and reduces chronotropic effect of isoprenaline in rats // *Physiol. Res.* – 2008. – V. 57, No 4. – P. 517–524.
  22. Абдуллин И.Ф., Турова Е.Н., Будников Г.К., Зиятдинова Г.К., Гайсина Г.Х. Электрогенерированный бром – реагент для определения антиоксидантной способности соков и экстрактов // *Зав. лаб. Диагностика материалов*. – 2002. – Т. 68, № 9. – С. 12–15.
  23. Trabelsi S.K., Tahar N.B., Trabelsi B., Abdelhedi R. Electrochemical oxidation of ferulic acid in aqueous solutions at gold oxide and lead dioxide electrodes // *J. Appl. Electrochem.* – 2005. – V. 35, No 10. – P. 967–973.
  24. Oniki T., Takahama U. Free radicals produced by the oxidation of gallic acid and catechin derivatives // *J. Wood Sci.* – 2004. – V. 50, No 6. – P. 545–547.

Поступила в редакцию  
17.12.12

**Зиятдинова Гузель Камилевна** – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры аналитической химии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: *Ziyatdinovag@mail.ru*

**Салихова Инна Равилевна** – студент Химического института им. А.М. Бутлерова, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

**Будников Герман Константинович** – доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: *Herman.Budnikov@ksu.ru*

\* \* \*

## REACTIONS OF COGNAC ANTIOXIDANTS WITH ELECTROGENERATED OXIDIZERS

*G.K. Ziyatdinova, I.R. Salikhova, H.C. Budnikov*

### Abstract

Stoichiometric coefficients for the reactions of cognac phenolic antioxidants (ellagic and gallic acids, syringic aldehyde, vanillin and coniferaldehyde) and furanaldehydes (furfural and 5-hydroxymethylfurfural) with electrogenerated bromine and hexacyanoferrate(III) ions have been found. It has been determined that hexacyanoferrate(III) ions oxidize gallic and ellagic acids only with consumption of four electrons. Hydroxyl groups in the structure of the compounds under investigation participate in the reactions with electrogenerated oxidizers. In the case of electrogenerated bromine, the reactions of electrophilic addition to multiple bonds and the reactions of substitution in aromatic ring can take place besides oxidation. The corresponding schemes are proposed. Quantitative determination of the compounds under investigation in model solutions has been performed. The RSD value does not exceed 3%.

**Keywords:** phenolic antioxidants, furanaldehydes, coulometric titration, electrogenerated oxidizers.

### References

1. Lugasi A., Hóvári J. Antioxidant properties of commercial alcoholic and nonalcoholic beverages. *Nahrung*, 2003, vol. 47, no. 2, pp. 79–86.
2. Faith N. Cognac. MITCH, 2006. 176 p.
3. Goldberg D.M., Hoffman B., Yang J., Soleas G.J. Phenolic constituents, furans, and total antioxidant status of distilled spirits. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, vol. 47, no. 10, pp. 3978–3985.
4. da Porto C., Calligaris S., Celotti E., Nicoli M.C. Antiradical properties of commercial cognacs assessed by the DPPH• test. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, vol. 48, no. 9, pp. 4241–4245.
5. Rimm E.B., Giovannucci E.L., Willett W.C., Colditz G.A., Ascherio A., Rosner B., Stampfer M.J. Prospective study of alcohol consumption and risk of coronary disease in men. *Lancet*, 1991, vol. 338, no. 8765, pp. 464–468.
6. Carando S., Teissedre P.L., Ferriere M., Descomps B., Cabanis J.C. Athérosclérose: Physiopathologie. Boissons alcoolisées et cardiopathies ischémiques. *Cahier de Nutrition et de Diététique*, 1998, vol. 33, pp. 182–187.
7. Josephy P.D., Lord H.L., Snieckus V.A. Inhibition of benzo[a]pyrene dihydrodiol epoxide mutagenicity by synthetic analogues of ellagic acid. *Mutat. Res.*, 1990, vol. 242, no. 2, pp. 143–149.
8. Majid S., Khanduja K.L., Gandhi R.K., Kapur S., Sharma R.R. Influence of ellagic acid on antioxidant defense system and lipid peroxidation in mice. *Biochem. Pharmacol.*, 1991, vol. 42, no. 7, pp. 1441–1445.
9. Abbasi S., Daneshfar A., Hamdghadareh S., Farmany A. Quantification of sub-nanomolar levels of gallic acid by adsorptive stripping voltammetry. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2011, vol. 6, no. 10, pp. 4843–4852.



10. Ghoreishi S.M., Behpour M., Khayatkashani M., Motaghedifard M.H. Simultaneous determination of ellagic and gallic acid in *Punica granatum*, *Myrtus communis* and Itriphal formulation by an electrochemical sensor based on a carbon paste electrode modified with multi-walled carbon nanotubes. *Anal. Methods*, 2011, vol. 3, no. 3, pp. 636–645.
11. Ziyatdinova G.K., Nizamova A.M., Aytuganova I.I., Budnikov H.C. Voltammetric evaluation of the antioxidant capacity of tea on electrodes modified with multi-walled carbon nanotubes. *J. Anal. Chem.*, 2013, vol. 68, no. 2, pp. 132–139.
12. Arteaga J.F., Ruiz-Montoya M., Palma A., Alonso-Garrido G., Pintado S., Rodríguez-Mellado J.M. Comparison of the simple cyclic voltammetry (CV) and DPPH assays for the determination of antioxidant capacity of active principles. *Molecules*, 2012, vol. 17, no. 5, pp. 5126–5138.
13. Komorsky-Lovrić Š., Novak I. Determination of ellagic acid in strawberries, raspberries and blackberries by square-wave voltammetry. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2011, vol. 6, no. 10, pp. 4638–4647.
14. Cuartero M., Ortuño J.A., Truchado P., García M.S., Tomás-Barberán F.A., Albero M.I. Voltammetric behaviour and square-wave voltammetric determination of the potent antioxidant and anti-carcinogenic agent ellagic acid in foodstuffs. *Food Chem.*, 2011, vol. 128, no. 2, pp. 549–554.
15. Thakur K., Pitre K.S. Polarographic (DCP & DPP) determination of ellagic acid in strawberries & pharmaceutical formulations. *J. Chinese Chem. Soc.*, 2008, vol. 55, no. 1, pp. 143–146.
16. Peng J., Hou C., Hu X. A graphene-based electrochemical sensor for sensitive detection of vanillin. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2012, vol. 7, no. 2, pp. 1724–1733.
17. Chethana B.K., Basavanna S., Naik Y.A. Determination of vanillin in real samples using lysine modified carbon paste electrode. *J. Chem. Pharm. Res.*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 538–545.
18. Xiao-rong Z., Wei-dong L., Jin H., Zheng-zhong Z. Electrochemical-voltammetry behavior of several aromatic aldehydes in acid solution. *Wuhan Univ. J. Nat. Sci.*, 2000, vol. 5, no. 4, pp. 485–490.
19. Chu D., Hou Y., He J., Xu M., Wang Y., Wang S., Wang J., Zha L. Nano TiO<sub>2</sub> film electrode for electrocatalytic reduction of furfural in ionic liquids. *J. Nanopart. Res.*, 2009, vol. 11, no. 7, pp. 1805–1809.
20. Shamsipur M., Beigi A.A.M., Teymouri M., Tash S.A., Samimi V. Electrocatalytic application of Girard's reagent T to simultaneous determination of furaldehydes in pharmaceutical and food matrices by highly sensitive voltammetric methods. *Electroanalysis*, 2010, vol. 22, no. 12, pp. 1314–1322.
21. Carusio N., Wangensteen R., Filipelli A., Andriantsitohaina R. Oral administration of polyphenolic compounds from cognac decreases ADP-induced platelet aggregation and reduces chronotropic effect of isoprenaline in rats. *Physiol. Res.*, 2008, vol. 57, no. 4, pp. 517–524.
22. Abdullin I.F., Turova E.N., Budnikov G.K., Ziyatdinova G.K., Gajsina G.Kh. Electrogenerated bromine – reagent for determination of antioxidant capacity of juices and extracts. *Zavodskaya Laboratoriya. Diagnostika Materialov*, 2002, vol. 68, no. 9, pp. 12–15. (In Russian)
23. Trabelsi S.K., Tahar N.B., Trabelsi B., Abdelhedi R. Electrochemical oxidation of ferulic acid in aqueous solutions at gold oxide and lead dioxide electrodes. *J. Appl. Electrochem.*, 2005, vol. 35, no. 10, pp. 967–973.
24. Oniki T., Takahama U. Free radicals produced by the oxidation of gallic acid and catechin derivatives. *J. Wood Sci.*, 2004, vol. 50, no. 6, pp. 545–547.

Received  
December 17, 2012

---

**Ziyatdinova Guzel Kamilevna** – PhD in Chemistry, Senior Lecturer, Department of Analytical chemistry, A.M. Butlerov Institute of Chemistry, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [Ziyatdinovag@mail.ru](mailto:Ziyatdinovag@mail.ru)

**Salikhova Inna Ravilevna** – Student, Department of Analytical Chemistry, A.M. Butlerov Institute of Chemistry, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

**Budnikov Herman Constantinovich** – Doctor of Chemistry, Professor, Department of Analytical Chemistry, A.M. Butlerov Institute of Chemistry, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [Herman.Budnikov@ksu.ru](mailto:Herman.Budnikov@ksu.ru)